

Desain Kaki Palsu untuk Membantu Aktivitas Berjalan pada Tuna Daksa *Transtibial* dengan Menggunakan *Rapid Prototyping* dan *Reverse Engineering*

Agung Dwi Junianto dan Djoko Kuswanto

Departemen Desain Produk Industri, Fakultas Arsitektur Desain dan Perencanaan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

e-mail: crewol@prodes.its.ac.id

Abstrak—Dari keseluruhan jumlah penduduk di Indonesia dengan *disabilitas* mencapai 2.126.000 jiwa, dengan total jumlah tuna daksa 717.312 dan Tuna Daksa dengan grahita berjumlah 149.458 jiwa, sama dengan menyumbang 47.4% dari total keseluruhan jumlah *difabel*. Hidup sebagai penyandang cacat di tengah-tengah masyarakat membuat mereka merasa terisolasi dalam kehidupan sosial dan memiliki kebutuhan yang tak terpenuhi dalam kaitannya dengan keuangan, pekerjaan dan kegiatan sosial, sementara. Dengan keadaan demikian, maka dibutuhkan alat bantu gerak untuk penyandang tuna daksa kaki, khususnya jenis amputasi bagian bawah lutut. Dengan proses pembuatan yang konvensional, harga kaki palsu masih terbilang mahal bagi golongan menengah ke bawah. Karena itu, metode *rapid prototyping* menjadi alternatif proses pembuatan modern untuk menekan biaya. Metode dimulai dengan mengambil data primer, *shadowing*, dan *deep interview*. Konsep yang digunakan untuk kaki palsu ini adalah *curvy* agar kaki palsu lebih terlihat seperti kaki manusia pada umumnya guna meningkatkan rasa percaya diri pengguna. Selain itu, *flexi foot* untuk memberikan mekanisme pada jari-jari agar kaki ketika melangkah, gerakan *toe off* mampu memberikan efek yang sama seperti manusia berjalan pada umumnya.

Kata Kunci—*amputate, leg, prosthetic, Rapid Prototyping.*

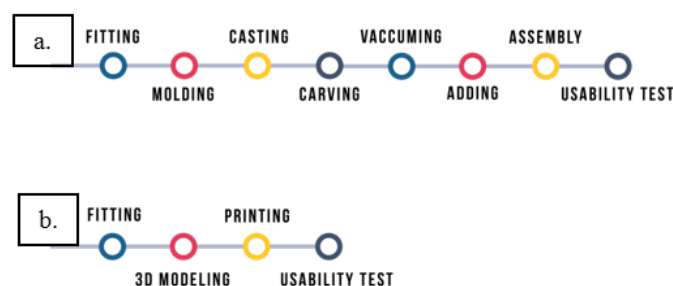
I. PENDAHULUAN

DARI keseluruhan jumlah penduduk di Indonesia dengan *disabilitas* mencapai 2.126.000 jiwa, dengan total jumlah tuna daksa 717.312 dan Tuna Daksa dengan grahita berjumlah 149.458 jiwa, sama dengan menyumbang 47.4% dari total keseluruhan jumlah [1].

Tiap pasien amputasi mengalami *shock* dalam menerima kehilangan salah satu anggota tubuhnya, dengan keadaan seperti itu para pasien sangat membutuhkan dukungan secara fisik ataupun *psikis*, dikarenakan pasien amputasi memiliki kebutuhan seperti ekonomi, dan kehidupan sosial yang tak terpenuhi [2], sedangkan dukungan secara fisik bisa diwujudkan melalui alat bantu palsu (*prosthetic*) dalam jurnal ini *prosthetic leg*.

Pengembangan *prosthetic leg* di Indonesia sendiri tertinggal jauh dengan negara-negara lain. *prosthetic leg* yang banyak di pasaran Indonesia lebih mengacu pada bentuk *cosmetic*, karena bentuk yang menyerupai kaki asli lebih memuaskan bagi pasien tuna daksa [3] sehingga secara fungsi belum banyak *cover* beberapa *foot abilities*, seperti *dorsi flexion* dan *plantar flexion*. Selain dari fungsi, metode pembuatan *prosthetic leg* di Indonesia juga masih menggunakan cara

konvensional meskipun sudah banyak teknologi canggih yang masuk di Indonesia seperti printer 3d. Proses pembuatan *prosthetic leg* dengan printer 3d dan *reverse engineering* memangkas banyak *step* dibanding pembuatan konvensional.



Gambar 1. Step Pembuatan Konvensional (a) dan 3D Printing (b).

II. METODE PENELITIAN

A. Bahan dan Alat

1. Filamen ABS dan PLA 1.75mm
2. Pipa Aluminium Ø31.75mm
3. Spring Ø18mm, $l = 33\text{mm}$
4. Busa Hati tebal 5mm
5. Mesin Printer 3D Wanhao D4S
6. 3D Scanner EinscanPro.

B. Tahap Pengumpulan Data

Pengumpulan data diperoleh dari hasil interview user, *deep interview* dengan *expert*, dan *shadowing*, serta pengolahan studi pustaka. Data-data tersebut meliputi:

1) Data Primer

Interview user berupa ukuran-ukuran yang menjadi *standart of procedure* untuk mengukur pasien tuna daksa kaki, *deep interview* mengenai pembuatan kaki palsu dengan *expert* yang menangani bidang *prosthetic* pada beberapa Rumah Sakit [4].

2) Data sekunder

Studi literatur yang didapat melalui jurnal online yang berkaitan dengan pembahasan dalam jurnal ini.

C. Tahap Studi dan Analisis

Studi dan Analisis digunakan untuk memetakan kebutuhan pasien terhadap kaki palsu, serta teknis yang terkait dengan kaki palsu. Beberapa studi dan analisis sebagai berikut

1) Studi Aktivitas

Studi aktivitas dilakukan untuk mendapatkan data dari pasien tuna daksa, untuk mengetahui keseharian yang seperti apa yang dilakukan pasien sehingga mampu di *cover* lebih baik dengan kaki palsu rapid prototyping ini.

2) Studi Ergonomi

Bertujuan untuk mengetahui dimana bagian titik kritis yang tidak diperbolehkan melakukan *contact* langsung dengan material kaki palsu, serta mengetahui tumpuan yang tepat, agar bagian socket tidak mudah lepas dari puntung kaki pasien.

3) Analisis Pasar

Analisis pasar dilakukan untuk mengkomparasi existing yang ada di pasaran luar negeri maupun dalam negeri dan juga melihat kelebihan fitur fitur tiap rodunya.

4) Analisis Material

Untuk mengetahui jenis material struktur (*pylon* pada kaki palsu) yang sesuai dengan kebutuhan pasien tuna daksa, serta proses produksi.

5) Analisis Gait Cycle

Analisis dilakukan untuk mengetahui sudut sudut kritis ketika kaki digunakan untuk berjalan guna menjadi data acuan pembuatan mekanisme pada kaki palsu.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah dalam detail perancangan ini yaitu meliputi:

1. Kaki palsu digunakan untuk penyangga tuna daksa untuk pasien bagian bawah lutut.
2. Cost Production \pm Rp 3.500.000 agar mampu dicover dana dari BPJS.
3. Membuat desain kaki prosthetic tanpa menggunakan mekanisme mekatronik.
4. Fungsi maksimal prosthetics leg menggantikan otot soleus dan Tibialis Anterior.
5. Prosthetics leg ditargetkan kepada orang-orang yang penyandang disabilitas karena amputasi, tidak untuk amputasi yang disebabkan penyakit seperti diabetes dan kanker.
6. Pembuatan Prototype body kaki prosthetic dengan menggunakan 3d printer.
7. Hanya beberapa komponen dengan menggunakan 3d printer.

III. HASIL PENELITIAN DAN INOVASI PRODUK

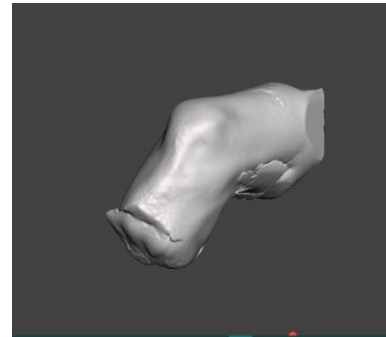
A. Tahap Survey Pasien

Pada tahap ini bertujuan untuk mengetahui data utama pasien seperti ukuran kaki dan bentuk stump, selain ukuran, aktivitas keseharian pasien juga diamati seperti naik motor ataupun naik turun tangga kecil.

Bentuk *Stump* pada tiap pasien memiliki ukuran yang personal, untuk mendapatkan data yang bagus harus menggunakan 3d scanner dan diolah menjadi data digital[5].



Gambar 2. Pengukuran Manual Kaki Pasien (a) Pengambilan Data dengan Alat 3D Scanner (b).



Gambar 3. Bentuk Data Digital Hasil dari 3d Scanning dengan Format File (.Stl)

B. Kesimpulan

Untuk mendapatkan data ukuran tiap pasien melalui pengukuran manual dan juga melakukan 3d scanning khusus untuk bagian *stump* karena 3d scanner memiliki kepresisian yang tinggi. Dan juga tiap pasien tuna daksa memiliki bentuk puntung yang berbeda-beda

C. Konsep Desain

Inovasi pada pengembangan produk kaki palsu untuk pasien tuna daksa bagian transtibial ini dilakukan dengan konsep konsep yang didapat dari hasil observasi user dan juga *deep interview* dengan expert. Konsep desain yang disimpulkan adalah:

1) Fit In

Kesesuaian yang harus dimiliki antara *socket* dengan puntung kaki pasien, dimana hanya bagian lutut dan bagian samping lutut yang dapat dijadikan sebagai tumpuan, hal tersebut dapat dicapai dengan pengambilan bentuk puntung kaki pasien dengan 3d scanner.

2) Curvy

Untuk bentuk kaki palsu yang diminati *responden* pada umumnya adalah bentuk yang menyerupai kaki asli, kaki sebelah lainnya.

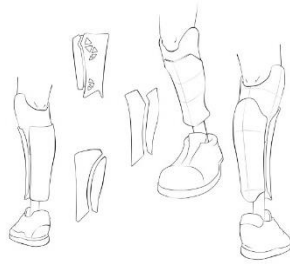
3) Slight Design

Selain material yang mampu membangun kaki palsu yang ringan, beberapa mekanisme pengganti seperti pada ankle, dan jari jari, memberikan rasa nyaman ketika melangkah [6].

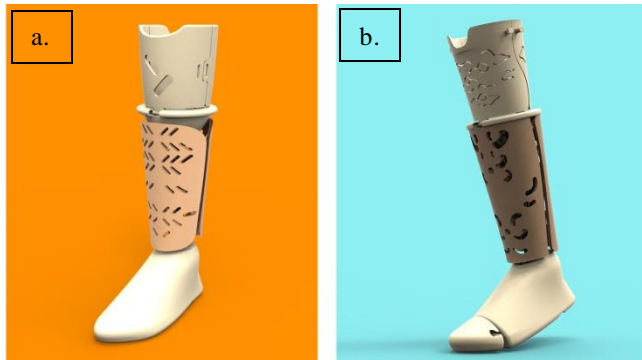
4) Interchangeability

Pada kaki palsu yang dirancang dengan *rapid prototyping* ini memiliki *cover* yang mampu di ganti dengan model *cover* lainnya.

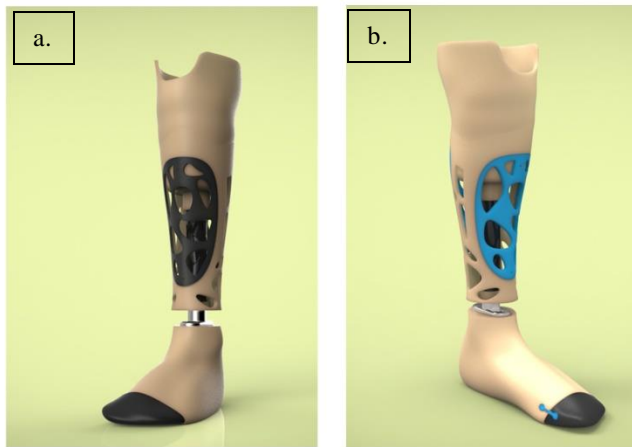
D. Sketsa dan Alternatif *Prosthetic leg*



Gambar 4. Sketsa awal desain.



Gambar 5. Alternatif desain 1. Bagian socket bisa dibagi menjadi 2 untuk memudahkan ketika pemasangan (a). Pada bagian kaki terdapat mekanisme sederhana menggunakan bahan flexi (b).



Gambar 6. Alternatif desain 2. Memiliki cover berwarna hitam (a) biru (b)



Gambar 7. Alternatif desain 3 dengan cover bagian depan dan belakang.

Dengan kebutuhan utama adalah pasien mampu berjalan dengan gaya jalan yang senormal dan senyaman mungkin, serta fokus menggunakan *endoskeletal*, dan juga ada nya *cover* kaki palsu yang mampu dirubah-rubah, alternatif ke-3 diajukan acuan.

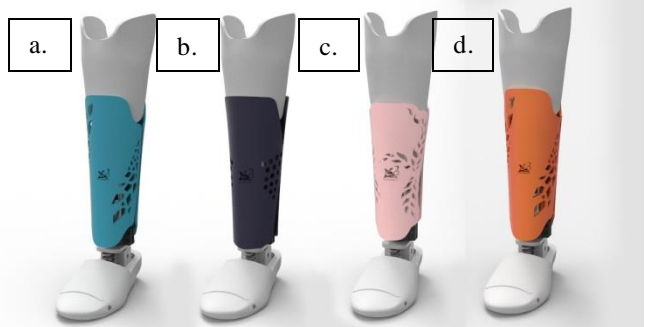
E. Desain Final

Desain Final kaki palsu ini adalah koreksi dari alternatif desain ke-3, dimana bagian kaki sudah memiliki mekanisme pengganti jari jari, serta *dumper* pada bagian mekanisme *ankle* sebagai stoper dan juga peredam ketika berjalan.



Gambar 8. Final Desain prosthetic leg.

Pada final desain ini juga memiliki varian warna dan juga pattern untuk bagian *cover* depan dan *cover* belakang.

Gambar 9. Varian desain cover *prosthetic leg*. Desain cover dengan pattern cryptic (a) desain pattern polkadot (b) desain pattern floral (c) desain cover pattern cryptic dengna warna orange (d).Gambar 10. ilustrasi *prosthetic leg* ketika digunakan.

F. Analisis Material dan Sudut Penting

Pada perancangan kaki palsu dengan rapid prototyping ini, pada bagian struktur *endoskeletal* menggunakan beberapa pilihan logam pipa, antara lain pipa carbon, pipa aluminium dan juga pipa titanium. Adapun hasil uji material *endoskeletal* sebagai berikut:

Tabel 1.

Hasil Analisis uji material logam pipa dengan ketebalan dinding 2mm pada *software* Fusion360.

Beban (N)	Von misses stress pada material (MPa)		
	Alumunium7075	CFRP	Titanium 6Al-4V
800	5.4	5.579	5.489
1200	8.165	8.369	8.233
1800	12.25	12.55	12.35
2000	13.61	13.95	13.72

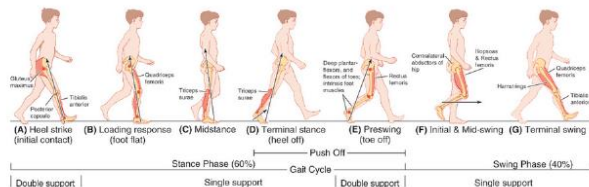
Tabel 2.

Hasil Analisis uji material logam pipa dengan ketebalan dinding 3mm pada *software* Fusion360.

Beban (N)	Von misses stress pada material (MPa)		
	Alumunium7075	CFRP	Titanium 6Al-4V
800	3.994	4.043	3.966
1200	5.916	6.065	5.948
1800	8.873	9.097	8.923
2000	9.859	10.11	9.914

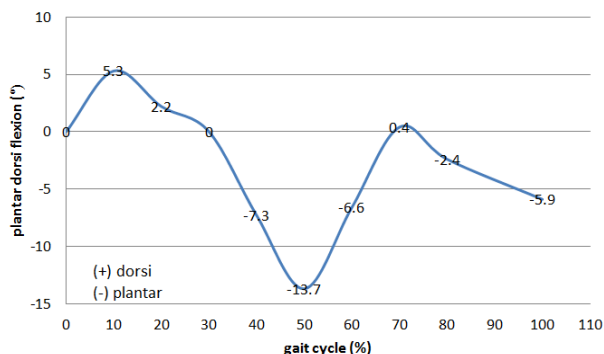
Dari data diatas diketahui jika MPa terendah dimiliki oleh material jenis pipa aluminium 7075 pada ketebalan 2mm dan 3mm, dengan pertimbangan kebutuhan dan lainnya, material pipa aluminium dengan ketebalan 2mm sudah cukup untuk dijadikan material struktur *endoskeletal*.

Untuk menjadikan kaki palsu ini alat bantu gerak yang aman dan nyaman beberapa sudut penting yang terjadi ketika berjalan harus terpenuhi. Berikut hasil analisis sudut penting ketika manusia berjalan diatas *treadmill* dengan kecepatan 3km/j



Gambar 11. Gait Cycle normal ketika orang berjalan. Memiliki 7 step: heel strike (a), Loading response (b), Midstance (c), Terminal Stance (d), Preswing (e), initial & mid swing (f), terminal swing (g) [7].

Plantar, dorsi flexion pada gait cycle



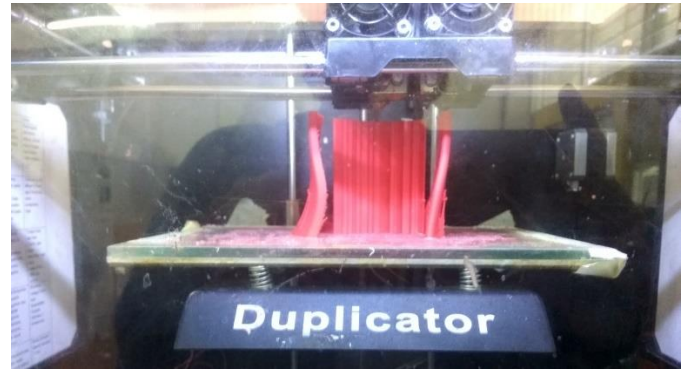
Gambar 12. Grafik *gait analysis* pada treadmill 3km/j.

Dari grafik di atas dapat diperoleh data ketika manusia berjalan dengan kecepatan 3km/h, maksimum plantar flexion yang terjadi adalah $\pm 13.7^\circ$. Dengan terjadinya plantar flexion

sebesar $\pm 13.7^\circ$, sudut antara lantai dan telapak kaki yang terjadi adalah $\pm 36.4^\circ$, angka ini yang akan menjadi acuan seberapa besar kaki prosthesis dalam desain ini memiliki mekanisme pada bagian pengganti jari jari.

G. Tahap Proses Produksi

Setelah pembuatan sketsa dan juga 3d modeling, hasil 3d model dengan format file (.stl) kemudian dicetak pada mesin 3d printing (*Wanhao D4S, D6*)



Gambar 12. proses 3d printing bagian kaki palsu.

IV. KESIMPULAN

Dalam merancang *prosthetic leg* dengan metode rapid prototyping dan reverse engineering terdapat hal hal yang harus dipertimbangkan, antara lain:

1. Desain kaki palsu sebisa mungkin dibentuk menyerupai kaki asli, seperti lengkungan pada betis, serta bagian *foot* mampu dikenakan alas kaki.
2. Soft socket tambahan diberikan bahan yang lembut agar puntung kaki pasien tidak mengalami gesekan yang besar.
3. Mekanisme pada kaki palsu yang mampu mengcover gerakan *plantar dan dorsi flexion*. Menggunakan alat yang sederhana seperti spring yang cukup keras untuk meredam benturan.
4. Kaki palsu dibuat dengan material yang ringan dengan tujuan pasien mampu berjalan lebih cepat, dan juga tidak mudah lelah.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] PDII, "Pusat Data Informasi Nasional." 2012.
- [2] L. et Al, *Psychosocial adaptation to amputation: The role of sociodemographic variables, disability-related factors and coping strategies.* .
- [3] A. B. Wilson and J. Lower-Limb, "Modular Prostheses A Status Report."
- [4] Gatot, "Rumah Sakit Sumber Glagah," 2017.
- [5] Y. H. C. et Al., *Ankle-Foot Orthosis Made by 3DPrinting Technique and Automated Design Software.* .
- [6] S. J. et Al, "Conceptual Design of an Active Transtibial Prosthesis Based on Expected Joint and Muscle Forces in a Unilateral Transtibial Amputee: A Modelling Study."
- [7] V. . et al Rajtřuková, "Biomechanics of Lower Limb Prostheses."